

Impatto della migrazione 2G/3G verso 4G/5G: valutazione sperimentale del servizio voce, evoluzione dell'utilizzo dello spettro e aspetti di efficienza energetica.

Impact of 2G/3G migration towards 4G/5G: experimental analysis of voice service, evolution of spectrum use and energy efficiency aspects.

Claudia Carciofi[♦], Claudio Cecchetti[♦], Andrea Garzia[♦], Valeria Petrini[♦], Simona Valbonesi[♦]

♦ Fondazione Ugo Bordoni

Sommario

Il tema della chiusura dei sistemi 2G/3G coinvolge molte parti interessate provenienti da ambiti diversi: utenti (compresi gli utenti vulnerabili), operatori di rete (compresi gli operatori virtuali), venditori, produttori di dispositivi, autorità nazionali o europee competenti e organismi di standardizzazione.

La gestione della fase di transizione tecnologica del 2G/3G verso tecnologie più evolute 4G/5G richiede di monitorare il funzionamento del servizio voce per i dispositivi legacy che possono operare solo in tecnologia 2G/3G.

In questo articolo vengono presentati i risultati di una campagna di misura del servizio voce 2G/3G svolta dalla Fondazione Ugo Bordoni nell'ambito delle attività coordinate dal MIMIT di refarming delle bande 900 MHz, 1800 MHz e 2100 MHz. La campagna di misura è stata portata avanti per diversi anni dal 2019 al 2023 e ha coinvolto un'area estesa del territorio nazionale che comprende città grandi, medie, piccole e percorsi extraurbani. In questo articolo viene dato particolare rilievo ai risultati delle misure più recenti, svolte nel 2023. Sono stati misurati i parametri di qualità voce blocking probability e dropping probability per le tecnologie 2G e 3G. I risultati delle misure vengono presentati in forma aggregata. L'articolo prende anche in considerazione altri aspetti della fase di transizione tecnologica dal 2G/3G al 4G/5G, quali l'efficienza energetica e l'uso più efficiente dello spettro per la gestione di nuovi servizi (VoLTE, VoNR, URLLC, mMTC), resi disponibili dalle tecnologie più evolute.

Abstract

Issues related to 2G/3G shutdown involve many different stakeholders: general users (included vulnerable ones), network operators (virtually included), vendors, device manufacturers and other competent national or European authorities and standardization groups. Managing the technological transition (2G/3G towards 4G/5G) requires monitoring the voice service operation for “2G/3G only” devices.

This paper presents the results of a series of measurement campaigns focused on 2G/3G voice service carried out by Fondazione Ugo Bordoni as a part of the activities coordinated by MIMIT to refarm the 900 MHz, 1800 MHz and 2100 MHz bands. The measurement campaigns were carried out from 2019 to 2023 and involved a large area of the national territory, including large, medium and small cities and extra-urban routes. In this paper, particular attention is given to results of the latest measurement campaign carried out in 2023. The voice quality KPIs (blocking/dropping probability) for 2G/3G technologies have been measured and aggregate results are presented. The paper takes also into account other key aspects of the technological transition phase from 2G/3G to 4G/5G, such as energy efficiency and efficient use of the spectrum for the management of the new services and features (VoLTE, VoNR, URLLC, mMTC), made available by the most advanced technologies.

Keywords

Refarming, 2G, 3G, 5G, KPI, blocking/dropping probability, spectrum, energy consumption.

1 - INTRODUZIONE

In seguito alla progressiva chiusura delle reti 2G e 3G, i dispositivi meno recenti che non supportano la tecnologia 4G/5G non potranno più accedere ad una serie di servizi voce e dati. Tali dispositivi meno recenti includono i telefoni cellulari legacy, i vecchi dispositivi M2M come i contatori elettrici intelligenti e i dispositivi eCall integrati nelle automobili.

Sin dal 2019 sono state effettuate dalla FUB, nell'ambito del Tavolo Tecnico refarming, campagne di misura estensive sul territorio, finalizzate alla valutazione della qualità voce su

C. Carciofi, C. Cecchetti, A. Garzia, V. Petrini, S. Valbonesi

reti 2G e 3G basata su rilevamenti effettuati in loco tramite un veicolo opportunamente attrezzato. Tali campagne di misura, sono state svolte in contemporanea alle misure di Qualità Internet Mobile a bordo di un veicolo che percorre il territorio italiano per un periodo di tempo considerevole.

In questo articolo, dopo una descrizione della metodologia di misura e della strumentazione utilizzata, vengono presentati i risultati finali della campagna di misura della qualità voce 2G/3G che si è svolta tra i mesi di settembre e novembre 2023.

Sono state effettuate misure dei parametri di probabilità di blocco e di caduta delle chiamate voce 2G/3G. La campagna ha coinvolto 10 grandi città misurate in modalità statica e dinamica, 35 città medio/piccole misurate solo in modalità dinamica e misure solo dinamiche effettuate nei percorsi extraurbani di raccordo tra le varie città.

I dati provenienti dalle varie campagne giornaliere di misura sono stati elaborati successivamente in modo aggregato per ottenere le percentuali di chiamate blocked/dropped per tecnologia (GSM/UMTS).

Sono state poi condotte analisi in funzione dello scenario, con particolare riferimento alla distinzione tra grandi città, città medio piccole e percorsi extraurbani, e analisi a livello di singola città. Viene inoltre presentato l'andamento dei risultati di misura nel tempo durante il quinquennio 2019-2023 riguardante le percentuali dei due KPI (blocking e dropping probability) calcolati sui dati delle 10 grandi città e distinti per tecnologia.

In questo articolo vengono presi in considerazione altri aspetti di interesse sulla fase transitoria di evoluzione delle tecnologie 2G/3G verso 4G/5G, in particolare l'uso più efficiente dello spettro anche dal punto di vista dell'efficienza energetica.

Sulla base dei dati disponibili dalle campagne di misura, viene presentata un'analisi nel tempo (2019-2023) dell'uso delle bande 900 MHz, 1800 MHz e 2100 MHz da parte delle tecnologie 2G, 3G. Inoltre, in uno scenario specifico relativo alla Regione Emilia-Romagna è stato analizzato l'uso delle tecnologie 2G, 3G, 4G, 5G nel tempo (2019-2023) evidenziando la crescita delle tecnologie 4G/5G e la decrescita del 2G/3G.

Infine, vengono presentate alcune considerazioni preliminari sull'impatto dal punto di vista energetico della chiusura del 2G/3G e della sostituzione degli apparati legacy con tecnologie più evolute 4G/5G.

2 – CARATTERIZZAZIONE DELLA CAMPAGNA DI MISURA

La campagna di misura 2023, come già quelle svolte nei 4 anni precedenti, ha permesso di effettuare misurazioni della qualità voce 2G/3G su tutto il territorio nazionale in diversi scenari ambientali: urbani, suburbani e rurali. L'elevata rappresentatività geografica e temporale delle misure ha permesso di ottenere un quadro generale ed onnicomprensivo di come è stata garantita e salvaguardata la qualità del servizio voce degli utenti legacy. In questa sezione si riporta una descrizione della campagna ed i risultati più significativi.

2.1 – Descrizione della campagna

L'obiettivo della campagna di misura consiste nel verificare che la qualità del servizio voce per apparati mobili solo 2G e solo 2G/3G non sia peggiorata in seguito alla progressiva evoluzione delle tecnologie mobili nelle bande 900 MHz, 1800 MHz e 2100 MHz. Questa verifica viene fatta attraverso indicatori di qualità (KPI) specifici:

- percentuale di chiamate voce bloccate (blocking probability), che fornisce informazioni sulla accessibilità al servizio;
- percentuale di chiamate voce cadute (dropping probability), che fornisce informazioni sulla capacità della rete mobile di mantenere una chiamata, una volta che essa sia stata correttamente stabilita.

La valutazione avviene sulla base di misure sperimentali estese della qualità voce, valutando i KPI sopra descritti separatamente per il sistema 2G e per quello 3G in diversi percorsi urbani, suburbani, rurali ed autostradali in tutta Italia.

Le campagne di misura hanno una durata indicativa di una decina di settimane e si svolgono nei giorni feriali (da lunedì a venerdì) dalle ore 8:00 alle 20:00.

C. Carciofi, C. Cecchetti, A. Garzia, V. Petrini, S. Valbonesi

Nelle grandi città le misure vengono svolte sia con il veicolo in movimento (modalità dinamica) che a veicolo fermo (modalità statica). Nelle città medio piccole e lungo i percorsi urbani ed extraurbani le misure sono effettuate solo in modalità dinamica.

Sono state effettuate misure nelle seguenti grandi città: Bari, Bologna, Firenze, Genova, Milano, Napoli, Palermo, Roma, Torino e Verona.

Le città medio piccole misurate sono: Ancona, Aosta, Bergamo, Bolzano, Brescia, Cagliari, Campobasso, Catania, Catanzaro, Foggia, La Spezia, Latina, Livorno, Matera, Messina, Modena, Novara, Padova, Parma, Perugia, Pesaro, Pescara, Potenza, Prato, Ravenna, Reggio Calabria, Salerno, Sassari, Taranto, Teramo, Terni, Trento, Trieste, Udine e Vicenza.

Nella Figura 1 sono riportati i percorsi seguiti nella campagna 2023.

La campagna prevede la ripetizione continua di un ciclo di misura con chiamate effettuate da tre terminali mobili (uno per ciascun operatore) e forzate alternativamente in tecnologia solo 2G o solo 2G/3G.



Figura 1 - Percorsi di misura

C. Carciofi, C. Cecchetti, A. Garzia, V. Petrini, S. Valbonesi

I cicli di misura, della durata di 180 secondi ciascuno, vengono eseguiti automaticamente mediante uno script di comandi e sono costituiti dalle seguenti fasi:

- Call set up: instaurazione chiamata della durata di 30 secondi; se non vi è risposta, la chiamata è considerata bloccata (Evento blocking).
- Mantenimento della chiamata: qualora la chiamata venga terminata prima della durata prevista di 120 secondi, essa viene considerata interrotta (Evento dropping).
- Rilascio e assestamento rete: chiusura della chiamata al termine dei 120 sec; in ogni caso (cioè, anche in caso di chiamata interrotta) viene lasciato passare un intervallo di 30 secondi per permettere l'assestamento della rete.

Una chiamata effettuata può avere uno dei seguenti tre esiti: "Completed" se viene completata correttamente, "Dropped" in caso di non completamento causa caduta, "Blocked" se non viene instaurata entro i tempi prestabiliti. La strumentazione di misura viene installata su un mezzo mobile opportunamente allestito per tutte le esigenze tecniche e logistiche legate allo svolgimento delle campagne di rilevamento. I terminali utente utilizzati per la campagna di misura sono tre smartphone basati sul sistema operativo Android posti all'interno di un box sul tetto del veicolo in opportuni alloggiamenti, denominati TCM, come rappresentato in Figura 2.



Figura 2 - Box di alloggiamento

2.2 – Attività di post-elaborazione delle misure

I dati ottenuti nel corso della campagna di misura vengono automaticamente archiviati su unità di massa locali e di rete e successivamente caricati su un database, dal quale vengono estratte, mediante query SQL, le informazioni necessarie per compilare una serie di report [1]. In fase di post-elaborazione, vengono effettuate molteplici analisi che comprendono lo studio della blocking/dropping probability classificando i risultati della campagna 2023 per operatore, tecnologia, gestore, scenario e banda di frequenza. Viene inoltre fornito un confronto tra i risultati ottenuti nelle varie campagne svolte.

2.3 - Risultati della campagna 2023

Durante la campagna 2023 sono state effettuati 23.098 cicli di misure. A livello nazionale i risultati aggregati sui 3 MNO sono stati i seguenti:

- Eventi blocking: 296, pari all'1,28%
- Eventi dropping: 133, pari allo 0,58%

L'aggregazione presentata include i dati relativi a tutti gli scenari oggetto di studio. Analisi più approfondite, effettuate separando i contributi dei vari operatori, hanno mostrato che, per tutti e tre gli MNO testati e per entrambe le tecnologie, i KPI blocking/dropping probability si mantengono ben al disotto del benchmark del 2%.

Le elaborazioni effettuate a livello regionale hanno mostrato valori dei KPI fortemente variabili da regione a regione. Per quanto riguarda la tecnologia, le regioni che presentano il maggior numero di operatori con criticità sono l'Abruzzo, l'Umbria e la Campania. Va rilevato che le percentuali registrate, anche in caso di superamento del benchmark del 2%, sono comunque inferiori a quelle ottenute nella campagna 2022, che aveva visto operatori in alcune regioni (Umbria e Valle d'Aosta) ottenere valori di blocking/dropping probability superiori al 10%. Ci sono poi regioni come Lazio, Lombardia, Marche, Molise, Toscana, Trentino, Valle d'Aosta e Veneto in cui nessun operatore supera il benchmark del 2%, a confermare un'ottima esperienza per gli utenti 2G. Anche per quanto riguarda la tecnologia UMTS, i risultati delle analisi mostrano percentuali di blocking/dropping inferiori al benchmark del 2%.

C. Carciofi, C. Cecchetti, A. Garzia, V. Petrini, S. Valbonesi

A livello globale aggregato, i risultati della campagna 2023 sulle sole grandi città sono così riassumibili:

- Chiamate effettuate: 13.650
- Eventi blocking: 111 – 0,81% sui tre MNO
- Eventi dropping: 33 – 0.24% sui tre MNO

Se si considerano invece le statistiche per singolo operatore, le percentuali di blocking e dropping variano a seconda della città e dell'operatore, mantenendosi comunque sempre su valori inferiori o leggermente superiori al benchmark del 2%. In genere, le percentuali di blocking sono più elevate rispetto alle percentuali di dropping.

Sul dato aggregato nazionale sono state effettuate analisi in funzione della tecnologia e delle bande di frequenze.

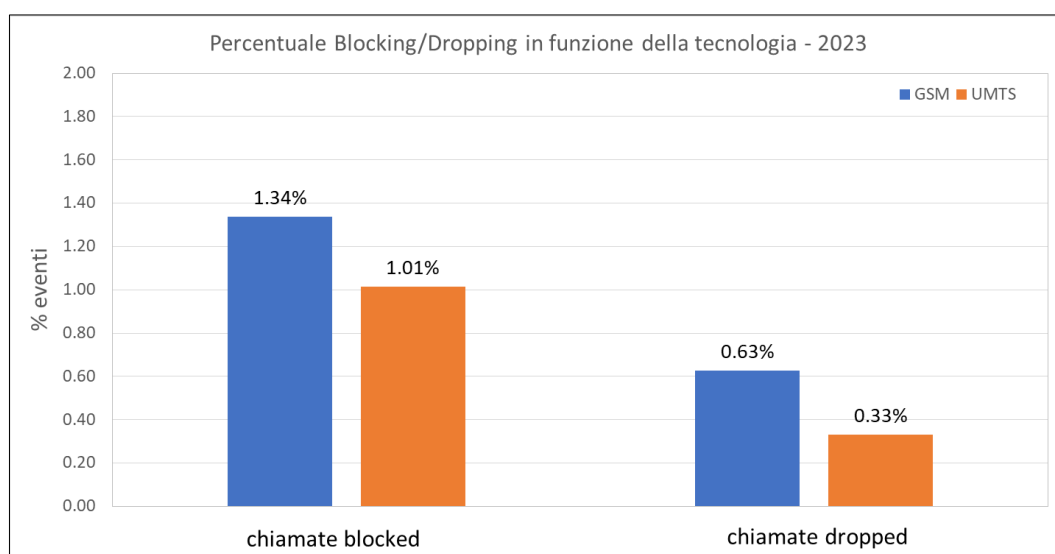


Figura 3 - Percentuale di chiamate blocking/dropping per tecnologia

Nella Figura 3 vengono riportate le percentuali di eventi blocking/dropping in funzione della tecnologia. Come si può vedere dal grafico, nessuna tecnologia presenta una percentuale di eventi dropping/blocking superiore al 2%. I dati presentati nel grafico della Figura 3 riguardano una analisi effettuata unicamente per tecnologie, senza operare quindi un distinguo tra le bande di frequenza sulle quali la tecnologia GSM/UMTS è stata implementata. Nella Tabella 1

C. Carciofi, C. Cecchetti, A. Garzia, V. Petrini, S. Valbonesi

vengono invece riportati i valori dei KPI blocking e dropping probability in funzione della tecnologia (GSM o UMTS) e della banda di frequenza sulla quale essa è implementata. Dalla analisi dei dati, nella tabella emerge che in nessun caso si ha il superamento del benchmark del 2%.

Tabella 1. KPI in funzione di tecnologia e banda

Tecnologia	Banda	% chiamate Blocked	% chiamate Dropped
GSM	900 MHz	1.35	0.62
GSM	1800 MHz	0.62	0.93
UMTS	900 MHz	0.96	0.37
UMTS	2100 MHz	1.04	0.31

Un'ulteriore analisi statistica ha riguardato lo studio sui macro-scenari finalizzato a verificare le prestazioni per le chiamate vocali al variare dell'ecosistema specifico, passando cioè da contesti a forte connotazione urbana (grandi città) a contesti prettamente extraurbani, rappresentati dai percorsi di raccordo tra una città e l'altra.

Sono stati pertanto analizzati tre macro-scenari distinti: grandi città, città medio piccole (caratterizzazione urbana/suburbana) e percorsi extraurbani e suburbani.

Va segnalato che, per come è stata progettata la campagna, la maggior parte delle misure (59 – 61% a seconda della tecnologia) sono state condotte nei territori comunali delle grandi città; questo sbilanciamento è imputabile al fatto che nelle grandi città le misure vengono eseguite in modalità sia statica che dinamica, mentre nelle città medio piccole e nei percorsi extraurbani vengono effettuati unicamente dei passaggi in mobilità.

Tabella 2. Sintesi per tipologia di scenario (GSM+UMTS) – Aggregato nazionale

SCENARIO	% chiamate Blocked	% chiamate Dropped
Globale	1.28	0.58
Grandi città	0.81	0.24
Città medio piccole	1.89	0.75
Extraurbano	2.07	1.45

C. Carciofi, C. Cecchetti, A. Garzia, V. Petrini, S. Valbonesi

Nella Tabella 2 vengono riportati i valori dei KPI blocking e dropping probability considerando entrambe le tecnologie (GSM+UMTS) aggregate a livello nazionale. Dall'analisi dei dati risulta che le percentuali più elevate di chiamate dropped e blocked si riscontrano nelle città medio piccole e sui percorsi extraurbani. Superamenti di lieve entità del benchmark del 2% si sono verificati unicamente nei percorsi extraurbani e sono riferibili solo alla blocking probability. Andando a considerare separatamente le due tecnologie si notano, in entrambi i casi, valori del KPI inferiori nelle grandi città e nelle città medio-piccole e più elevati nei percorsi extraurbani. Questa considerazione è valida per entrambe le tecnologie con variabilità da un operatore all'altro.

3- CONFRONTO TRA LE CAMPAGNE SVOLTE NEGLI ANNI

In questa sezione si propone un confronto dei risultati ottenuti nelle varie campagne di misura effettuate nel quinquennio 2019-2023, riguardanti le percentuali dei due KPI (blocking e dropping probability) calcolati sui dati delle 10 grandi città. Spostare il focus sull'andamento dei KPI nel corso dei 5 anni è estremamente importante in quanto permette di valutare se c'è stato un miglioramento/peggioramento dell'esperienza voce per gli utenti legacy. L'analisi delle variazioni dei KPI, in anni di transizione tecnologica, permette inoltre di identificare cosa accade precedentemente e successivamente ad una operazione di refarming di una tecnologia da parte di un operatore.

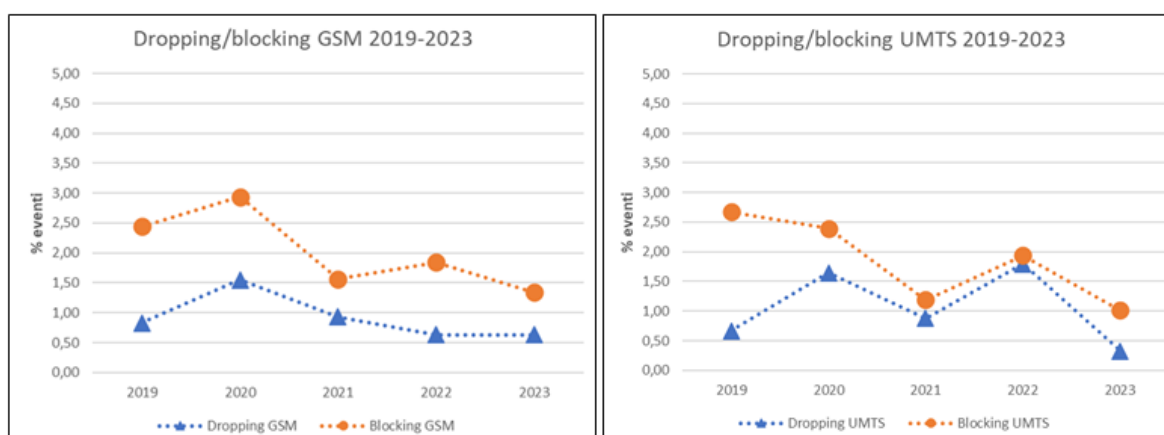


Figura 4 – Dropping/blocking probability, confronto 2019-2023; GSM (a sinistra) – UMTS (a destra)

C. Carciofi, C. Cecchetti, A. Garzia, V. Petrini, S. Valbonesi

I grafici della Figura 4 mostrano gli andamenti dei KPI blocking e dropping probability nel quinquennio 2019-2023 per le tecnologie GSM ed UMTS; l'aggregazione è a livello nazionale e riguarda gli scenari urbani (grandi città). Dall'analisi dei grafici, emerge che dal 2019 al 2020 i valori di probabilità di blocco e di caduta in tecnologia GSM risultano crescenti seppure con valori assoluti contenuti, successivamente si assiste ad un sostanziale miglioramento dei KPI nel corso degli anni per entrambe le tecnologie.

3.2 – Effetti del Refarming sui KPI

L'analisi specifica sulla tecnologia UMTS, per la quale in Italia è in corso una attività di refarming, mostra che nel periodo precedente alla chiusura della tecnologia UMTS si verifica generalmente un lieve aumento della dropping probability, imputabile probabilmente alla attività di migrazione verso tecnologie più evolute 4G/5G. Tale aumento lo si registra, anche se in modo meno marcato, per la blocking probability.

4 – EVOLUZIONE NELL'IMPIEGO DELLE TECNOLOGIE

In questa sezione viene presentata un'analisi nel tempo (2019-2023) dell'uso delle varie bande di frequenze da parte delle tecnologie 2G e 3G, unitamente ai risultati di un case study basato sul dato catastale reale della Regione Emilia-Romagna. Tali analisi possono fornire alle Amministrazioni competenti elementi utili a verificare la necessità o meno di mantenere nel tempo porzioni di bande dedicate alle tecnologie legacy.

4.1 Analisi dati delle campagne refarming

Nella Tabella 3 sono rappresentate le percentuali di chiamate avvenute in tecnologia GSM (bande 900 e 1800 MHz) e UMTS (bande 900 e 2100 MHz) nel corso delle campagne di misura del quinquennio 2019-2023. Questa tipologia di analisi è fondamentale nello studio dei periodi di transizione tecnologica, in quanto fornisce informazioni sulla evoluzione degli utilizzi di specifiche bande nel corso degli ultimi anni.

C. Carciofi, C. Cecchetti, A. Garzia, V. Petrini, S. Valbonesi

Tabella 3. Ripartizione per bande delle chiamate – campagne 2019-2023

Tecnologia	Banda	2019	2020	2021	2022	2023
GSM	900 MHz	47.25 %	49.93 %	67.73 %	76.39 %	81.65 %
GSM	1800 MHz	3.26 %	0.65 %	0.86 %	1.53 %	1.39 %
UMTS	900 MHz	-	16.9 %	7.04 %	8.37 %	5.84 %
UMTS	2100 MHz	49.49 %	32.52 %	24.36 %	13.71 %	11.11 %

Dall'analisi di oltre 100.000 dati disponibili emerge:

- 1) Un massiccio e costante aumento dell'utilizzo della banda 900 MHz per la tecnologia GSM (da 47.25% delle chiamate sulla banda a 81.65%)
- 2) Un residuale utilizzo della banda 900 MHz per dispiegamenti 3G (5.84% in diminuzione)
- 3) Una netta diminuzione dell'utilizzo della banda 2100 MHz per tecnologie legacy
- 4) Un andamento sostanzialmente stabile dell'uso della banda 1800 MHz per dispiegamenti GSM.

4.2 – Case study: uso delle tecnologie in Emilia-Romagna

Si presenta di seguito il risultato di un'analisi dei dati riguardanti le tecnologie dispiegate sugli impianti operativi nel territorio della Regione Emilia-Romagna, basata sul dato reale messo a disposizione del pubblico dall'Agenzia Regionale per la Prevenzione Ambientale (ARPAE) attraverso il catasto online degli impianti [2].

Il database messo a disposizione da ARPAE riporta tutti gli impianti dispiegati, le relative tecnologie nonché l'anno di installazione. Attraverso l'elaborazione dei dati disponibili è stato possibile calcolare la variazione nel corso degli anni delle percentuali di dispiegamento di una determinata tecnologia. Come si può evincere dai grafici della Figura 5, nel corso del quinquennio si è assistito ad una netta e costante diminuzione dei dispiegamenti legacy, accompagnato da un aumento dei dispiegamenti 4G e 5G. L'aumento delle percentuali di dispiegamenti 5G cresce in modo evidente a partire dalla seconda metà del 2021 e nel 2023, c'è stato il superamento in percentuale della tecnologia 3G da parte della tecnologia 5G.

Attualmente, comunque, la tecnologia più dispiegata è di gran lunga il 4G. Le analisi sono aggiornate a febbraio 2024.

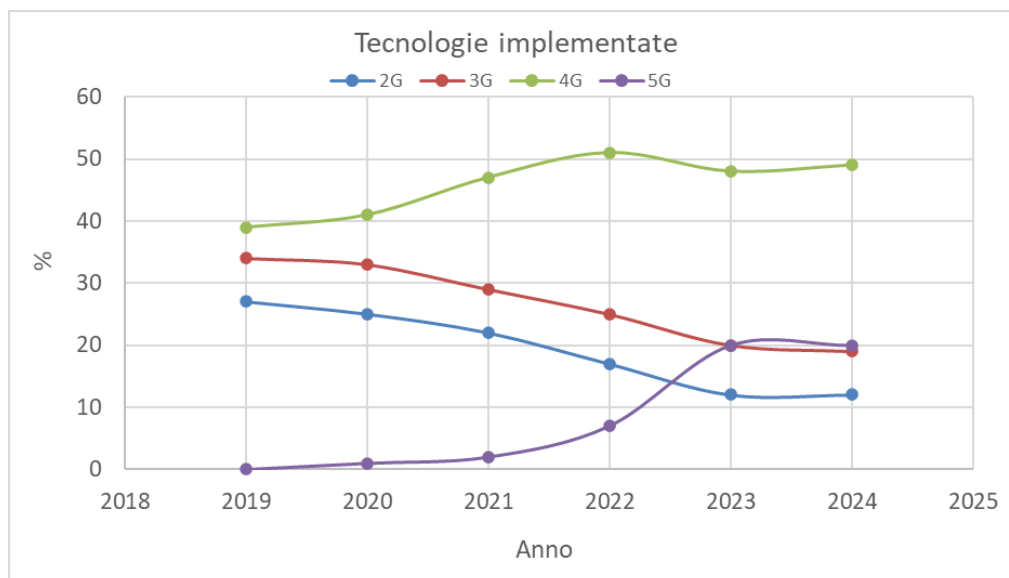


Figura 5 – Dispiegamento percentuale delle tecnologie in Emilia-Romagna

Per quanto riguarda le singole bande, in particolare quelle di interesse ai fini del refarming, le analisi effettuate sui dati di ARPAE relativi alla data di approvazione della implementazione di nuovi impianti hanno avuto i seguenti esiti:

- Banda 900 MHz – Già a partire dal 2019 non ci sono state nuove installazioni 3G; la banda attualmente è utilizzata in modo esclusivo per tecnologia 2G;
- Banda 1800 MHz – Viene utilizzata per tecnologie GSM, UMTS ed LTE. L'utilizzo della banda per UMTS è stato sempre marginale; nel corso degli anni le nuove installazioni 2G su questa banda sono crollate dal 29.3% del 2019 allo 0% del 2024¹, anno che sta vedendo unicamente il dispiegamento della tecnologia LTE.
- Banda 2100 MHz – Anche questa banda sta andando verso un utilizzo esclusivo da parte della tecnologia LTE. Nel 2019, l'89% dei dispiegamenti era su tecnologia UMTS, tale percentuale attualmente è scesa all'11.7%.

¹ Dato aggiornato a marzo 2024.

C. Carciofi, C. Cecchetti, A. Garzia, V. Petrini, S. Valbonesi

L'ultima analisi effettuata riguarda la caratterizzazione in frequenza dei dispiegamenti 5G operativi in regione.

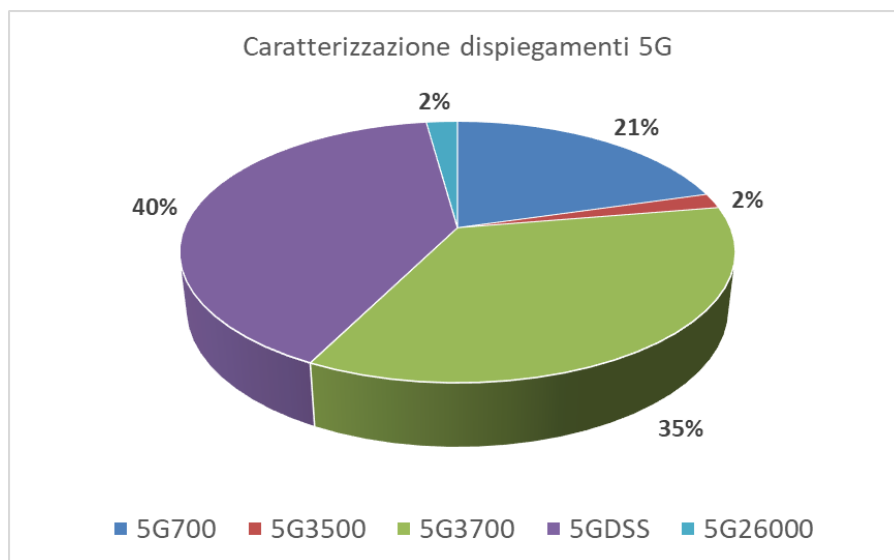


Figura 6 – Caratterizzazione impianti 5G (aggiornamento 02/2024)

Nella Figura 6 vengono riportati, in forma grafica, i risultati ottenuti dall'analisi del dataset di ARPAE relativamente alla caratterizzazione dei dispiegamenti 5G sulle varie bande. Dalla lettura del grafico, emerge che il 35% delle reti pubbliche offrono il 5G sulla banda pioniera 3700 MHz, il 40% offre il 5G DSS (sistema LTE + 5G) sulle bande 1800 MHz, 2100 MHz e 2600 MHz. Ancora marginale (2%) la percentuale di dispiegamenti 5G ad onde millimetriche sulla banda 26 GHz.

5 – IMPATTO DEL REFARMING 2G/3G

La chiusura di una tecnologia non è esente da impatti (o sfide) che riguardano molteplici aspetti: dall'esperienza del singolo utente, fino ad arrivare alle economie di scala ed alla gestione energetica. Un lavoro recentemente pubblicato dal BEREC [3] analizza sotto molti punti di vista i potenziali impatti del "phasing out 2G/3G". Gli impatti possono riguardare l'utente finale, in particolare la fascia degli utilizzatori "2G/3G only" per i quali la chiusura delle tecnologie legacy comporterà l'impossibilità di comunicare o accedere ai servizi base oppure

costi di adeguamento dei dispositivi. L'impatto delle chiusure sugli utenti dipenderà da molteplici fattori, in particolare dalla durata della fase transitoria e dalla disponibilità di servizi/tecnologie alternative. Oltre all'utenza finale, ci saranno altri aspetti legati alla chiusura delle tecnologie di vecchia generazione; nelle successive sezioni, partendo dall'approccio BEREC [3], si analizzano le implicazioni della chiusura delle tecnologie legacy su alcuni aspetti di interesse strategico.

5.1 – Considerazioni sulle economie di scala

Secondo quanto riportato da GSMA Mobile Economy 2024 [4], attualmente le percentuali di abbonati nei paesi europei sono così distribuite: 2G, 3% - 3G, 9% - 4G, 67% - 5G, 20%. Le proiezioni al 2030 prevedono un calo delle tecnologie legacy al 2%, una drastica diminuzione del 4G al 16% ed una netta prevalenza del 5G. Nel 2023 le tecnologie ed i servizi mobili hanno generato il 5,4% del PIL globale, pari a 5.7 trilioni di dollari, e sostenuto circa 35 milioni di posti di lavoro. La commercializzazione del 5G è ancora in fase di accelerazione; a gennaio 2024 circa 260 operatori in oltre 100 paesi avevano lanciato servizi mobili 5G commerciali, a questi seguiranno altri mercati pronti a partire nei prossimi mesi/anni. Gli analisti prevedono che il numero di connessioni su reti legacy continuerà a diminuire nei prossimi anni, man mano che gli utenti migreranno su nuove tecnologie. Secondo GSMA Intelligence [4], tra la fine del 2023 e il 2030 dovrebbero essere chiuse 143 reti 2G e/o 3G, di cui circa il 50% entro la fine del 2024. Per il decennio in corso si prevede una crescita dei ricavi da tecnologie mobili trainata dalle nuove funzionalità della rete 5G e dai nuovi servizi, anche se, in questa fase di transizione e di sviluppo/consolidamento della tecnologia 5G, i costi operativi a carico dei gestori saranno ancora molto elevati. Tali costi stanno spingendo molti MNO ad accelerare l'automazione delle reti e dei servizi e ad attuare forme di risparmio che spesso prevedono la chiusura delle tecnologie legacy per liberare lo spettro ed evitare costi energetici e di mantenimento di impianti obsoleti.

La pianificazione di una chiusura deve essere effettuata con attenzione, tenendo in considerazione non solo l'aspetto economico ma anche il possibile impatto sulla

interoperabilità, i problemi di disponibilità ubiquitaria delle chiamate di emergenza, la continuità del servizio per gli utenti finali, la copertura delle aree remote e rurali e il fatto che molti dispositivi M2M e IoT funzionano ancora sulle tecnologie di vecchia generazione.

Il passaggio a una telefonia basata unicamente su IP è essenziale ma, da questo punto di vista, ci sono ancora nodi da sciogliere che comportano tempo, costi e sinergie ancora non consolidate. Gli organismi di standardizzazione, gli MNO, i fornitori di apparecchiature di rete e i produttori di dispositivi dovranno, a stretto giro, implementare e adottare standard adeguati per VoLTE e VoNR in modo da preservare la disponibilità del servizio di chiamate vocali, comprese quelle di emergenza. Dovranno essere presi in considerazione i limiti dei terminali attualmente in commercio e previsti cicli di sostituzione in uno scenario caratterizzato da una disponibilità inadeguata (o a caro prezzo) di materie prime per la produzione di apparati.

5.2 – Aspetti energetici ed ambientali

Secondo un'analisi effettuata da ARCEP, attualmente, nonostante una costante tendenza alla diminuzione in numero, le reti 2G/3G rappresentano ancora una quota non trascurabile del consumo energetico totale delle reti mobili [5].

Secondo indagini condotte dalla società MTM Consulting, gruppo che si occupa di sistemi di gestione e sviluppo sostenibile, circa il 90% del consumo energetico di un operatore di rete mobile proviene dalla gestione/funzionamento della rete stessa [6] ed il 57% è imputabile al funzionamento delle stazioni radiobase. Sulla base di quanto indicato in letteratura [7], l'amplificatore di potenza consuma il 75% dell'energia utile per il funzionamento della BTS; tale consumo varia in funzione della tecnologia. Nella Figura 7 (tratta da [7]) vengono presentati i componenti chiave di una BTS e il loro consumo energetico tipico per tre diverse configurazioni di rete. Le colonne mostrano le tecnologie implementate su una singola BTS e le righe sono gli elementi che influenzano il consumo energetico. Le caselle in grigio sono gli elementi che influenzano lo strato 2G e 3G, le caselle blu sono relative allo strato 4G, le caselle verdi riguardano strati 2G, 3G e 4G e le caselle arancioni riguardano lo strato 5G.

Impatto della migrazione 2G/3G verso 4G/5G: valutazione sperimentale servizio voce, evoluzione dell'utilizzo dello spettro e aspetti di efficienza energetica.

Impact of 2G/3G migrations towards 4G/5G: experimental analysis of voice service, evolution of spectrum use and energy efficiency aspects

C. Carciofi, C. Cecchetti, A. Garzia, V. Petrini, S. Valbonesi

I valori all'interno degli ovali rappresentano il consumo energetico massimo per la specifica configurazione. Di conseguenza, dalla rappresentazione della Figura 7 emerge che il consumo massimo di una BTS 2G/3G è pari 3.9 kWh, aggiungendo lo strato 4G si ha un aumento del consumo energetico massimo del 51%, aggiungendo lo strato 5G si ha un ulteriore aumento del 66%. Le frecce gialle rappresentano il contributo totale degli elementi di rete legacy quando si passa ad una tecnologia più recente.

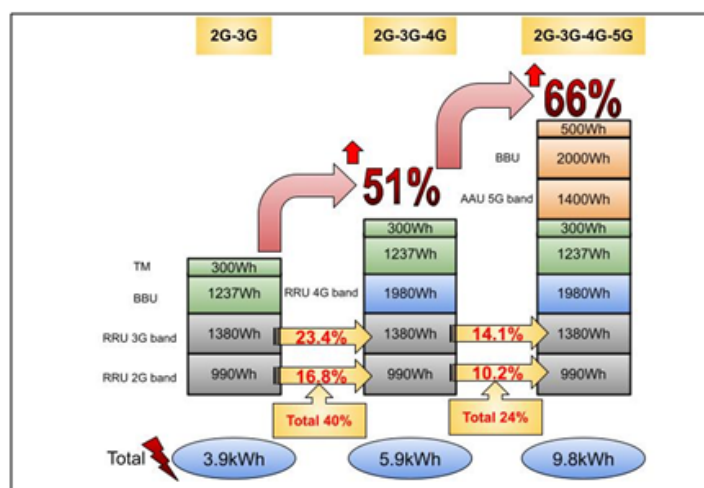


Figura 7 – Consumo energetico dei componenti chiave di una BTS in 3 configurazioni di rete (fonte [5])

Dall'analisi della figura emerge che in una stazione 2G-3G-4G, il 40% della energia consumata è causato dal mantenimento dello strato 2G-3G; passando ad un sistema 2G-3G-4G-5G, tale percentuale scende al 24%. Da parte di MTM [7] sono state effettuate anche analisi riguardanti gli effetti, dal punto di vista energetico, della modalità applicata per lo spegnimento delle tecnologie legacy. Nella Tabella 4 sono riportati alcuni possibili percorsi per arrivare allo spegnimento delle reti legacy ed i relativi impatti energetici.

C. Carciofi, C. Cecchetti, A. Garzia, V. Petrini, S. Valbonesi

Tabella 4. Possibili percorsi per chiusura tecnologie legacy (fonte [7])

Configurazione	Percorso di migrazione	Riduzione consumo energetico (%)
2G – 3G	<ul style="list-style-type: none">• Passaggio diretto al 5G• Chiusura immediata 2G e 3G	50%
2G – 4G	<ul style="list-style-type: none">• Passaggio al 5G• Successiva chiusura del 2G	30.1%
3G – 4G	<ul style="list-style-type: none">• Passaggio al 5G• Successiva chiusura del 3G	33.2%
2G – 3G – 4G	<ul style="list-style-type: none">• Aggiornamento al 5G• Successiva chiusura di 2G e 3G	39.9%
3G – 4G – 5G	<ul style="list-style-type: none">• Aggiornamento del sito alla tecnologia 5G• Successiva chiusura del 3G	33.2%
2G – 4G – 5G	<ul style="list-style-type: none">• Aggiornamento del sito alla tecnologia 5G• Successiva chiusura del 2G	30.1%
2G – 3G – 4G – 5G	<ul style="list-style-type: none">• Chiusura contemporanea di 2G e 3G	39.9%

Come si può vedere dalla tabella, le soluzioni più ottimizzate dal punto di vista energetico sono la chiusura contemporanea delle tecnologie legacy e relativa sostituzione con il 5G (che comporta una riduzione del 50% del consumo energetico) e (con un minore risparmio energetico) lo spegnimento contemporaneo di 2G e 3G a vantaggio di 4G e 5G. Soluzioni intermedie che prevedano upgrade tecnologici e successiva chiusura delle tecnologie legacy portano a riduzioni minori.

6 – CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Il refarming rappresenta un modo economicamente vantaggioso per aumentare la capacità delle reti di nuova generazione senza ricorrere all'assegnazione di nuove bande spettrali. Molti operatori a livello mondiale hanno già chiuso i servizi legacy per consentire lo sviluppo di tecnologie più efficienti dal punto di vista economico ed energetico.

In Italia, da alcuni anni vengono effettuate campagne di misura a elevata rappresentatività geografica, attraverso drive test, al fine di verificare se l'attività di refarming delle tecnologie 2G e 3G si traduce in un peggioramento della qualità delle chiamate vocali lato utente.

Sono state effettuate numerose analisi statistiche per valutare due KPI specifici (dropping e blocking probability) partendo da una macro-aggregazione a livello nazionale, per arrivare a valutazioni più complesse e raffinate in funzione dello scenario specifico, della tecnologia e della banda di frequenza. In generale, i tassi di fallimento complessivi sono risultati inferiori al benchmark di riferimento del 2%. Le analisi a livello di scenari ambientali hanno indicato un peggioramento dei KPI passando da contesti urbani a contesti extraurbani, mentre le differenze si sono rivelate minime se si vanno ad analizzare i KPI in funzione della banda di frequenza. L'analisi comparativa effettuata sulle campagne 2019-2023 ha indicato una tendenza al miglioramento dei KPI; è stato inoltre notato che, nei periodi di transizione in cui un operatore ha in corso una attività di refarming, si assiste ad un peggioramento dei KPI per quell'operatore.

L'attuale scenario tecnologico ed economico è complesso; da un lato gli operatori hanno effettuato e continuano a effettuare investimenti ingenti sulla tecnologia 5G dai quali attendono rientri che potrebbero essere più immediati e cospicui se si procedesse alla chiusura delle tecnologie legacy, e dall'altro ci sono implicazioni che riguardano sia i servizi "mission critical" sia la necessità di garantire a tutti gli utenti l'accesso ai servizi voce. Senza trascurare gli effetti sul bilancio energetico: studi effettuati a livello internazionale hanno infatti mostrato che, convertendo un impianto 2G/3G in 5G, si ha un risparmio in termini energetici del 50%, mentre la chiusura delle due tecnologie legacy in un impianto che inizialmente ospitava 2G, 3G, 4G e 5G comporta una diminuzione del consumo prossima al

40%. Mentre la chiusura della tecnologia 3G non sembra porre particolari problemi, prima di procedere alla chiusura della tecnologia 2G è invece necessario effettuare analisi costi/benefici considerando non solo l'impatto sulla utenza ma anche le implicazioni su servizi "mission critical" come l'eCall o "business critical" come lo smart metering, la cui migrazione anticipata alla tecnologia 5G/LTE potrebbe costituire una perdita economica per svariati settori vertical che negli ultimi anni hanno effettuato investimenti a lungo termine su contatori basati su tecnologia 2G.

Per quanto riguarda gli utenti standard, la sfida più cogente è quella di arrivare alla standardizzazione della tecnologia VoLTE, in modo tale da permettere a tutti gli utenti di accedere al servizio indipendentemente dall'operatore e dalla tipologia di terminale.

Per quanto riguarda le attività per il prossimo futuro, si può pensare ad investire tempo e risorse sulle questioni relative al bilancio energetico che sono cruciali in questo periodo storico. Il monitoraggio della qualità voce (e non solo) continuerà ad essere un aspetto importante, sia per le Amministrazioni che per i verticals e gli operatori ma, alla luce del progresso tecnologico e del sempre maggiore impatto delle modalità di chiamata a commutazione di pacchetto, occorrerà effettuare analisi più complesse e specifiche che coinvolgano una maggiore varietà di parametri caratterizzanti, quali lo studio delle metodologie che permettano di effettuare analisi esaustive delle chiamate vocali con tecnologia VoLTE.

7 - Bibliografia

- [1] - SwissQual – *“Call Analysis Description Manual”* – 2005
- [2] - ARPAE – *Catasto Regionale Campi Elettromagnetici* - <https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/campi-elettromagnetici>
- [3] - BEREC - *“Report on practices and challenges of the phasing out of 2G and 3G”* – 2023
- [4] - GSMA Intelligence - *“Mobility Economy 2024”* – 2024
- [5] - ARCEP – *“Assessing the carbon footprint of shutting down 2G and 3G networks and migrating their services to 4G/5G - Detailed Report”* – 2023
- [6] - MTM Consulting – *“Quantifying the energy cost savings from 2G/3G network shutdowns”* – 2023
- [7] - Ayang A.E. et al. - *“Power Consumption: Base Stations of Telecommunication in Sahel Zone of Cameroon: Typology Based on the Power Consumption—Model and Energy Savings.”* - Journal of Energy 2016. 1- doi 15. 10.1155/2016/3161060.